

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 197 13 917 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**G 06 F 17/18**  
G 06 F 17/50  
G 06 F 17/60  
G 07 C 3/00  
G 01 M 19/00  
G 05 B 17/00

②1 Aktenzeichen: 197 13 917.5  
②2 Anmeldetag: 4. 4. 97  
④3 Offenlegungstag: 8. 10. 98

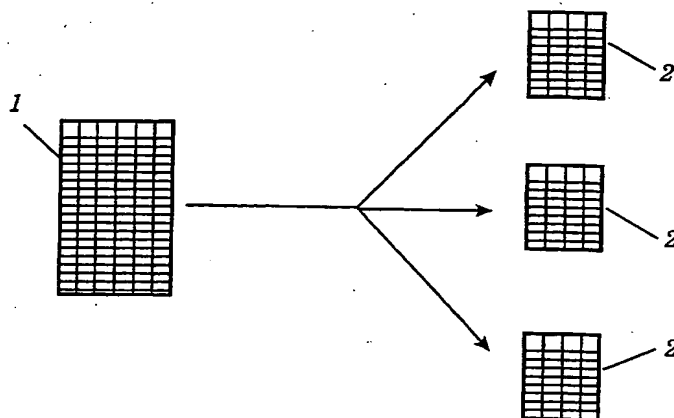
- ⑦1 Anmelder:  
ABB Research Ltd., Zürich, CH
- ⑦4 Vertreter:  
Lück, G., Dipl.-Ing. Dr.rer.nat., Pat.-Anw., 79761  
Waldshut-Tiengen
- ⑦2 Erfinder:  
Draber, Silke, Dr., Baden, CH
- ⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
zu ziehende Druckschriften:
- |    |              |
|----|--------------|
| DE | 41 24 542 A1 |
| DE | 39 33 958 A1 |
| DE | 38 00 147 A1 |
| DE | 37 05 964 A1 |
| DE | 27 39 044 A1 |
| EP | 04 94 788 A1 |
| WO | 90 09 644 A1 |
- WIENDAHL, Hans-Peter, KRATZENBERG, Stefan:  
Effiziente  
Instandhaltungsplanung für Montageanlagen. In:

VDI-Z 136, 1994, Nr. 11/12, S.68-73;  
ISERMANN, Rolf: Modellgestützte Überwachung  
und  
Fehlerdiagnose Technischer Systeme (Teil 1). In:  
atp Automatisierungstechnische Praxis 38, 1996,  
5, S.9-20;  
BERTHOLD, Bernd, u.a.: Wissensbasierte  
Systemanalyse. In: QZ Qualität und  
Zuverlässigkeit, 40, 1995, 6, S.714-718;  
LUNZE, Jan, SCHILLER, Frank: Ein Beispiel zur  
logikbasierten Prozeßdiagnose. In: atp  
Automatisierungstechnische Praxis 38, 1996, 5,  
S.26-34;  
KUKKAL, Puneet, BOWLES, John, B., BONNELL, Ron-  
ald, D.:  
Database Design for Failure Modes and Effects  
Analysis. In: Proceedings Annual Reliability and  
Maintainability Symposium, 1993, S.231-239;  
OHLEF, Henry, BINROTH, William, HABOUSH, Roger:  
Statistical Model for a Failure Mode and Effects  
Analysis and its Application to Computer Fault-  
Tracing. In: IEEE Transactions on Reliability,  
Vol. R-27, No. 1, April 1978, S.16-22;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

- ⑤4 Verfahren zur Bestimmung von Zuverlässigkeitskennwerten einer technischen Anlage

- ⑤7 Bei einem Verfahren zur Bestimmung von Zuverlässigkeitskennwerten einer technischen Anlage wird zunächst eine einzige konfigurationsübergreifende FMEA-Tabelle für die ganze Anlage erstellt. Die Tabelle weist in ihren Zeilen, d. h. der Beschreibung der Fehler und ihrer Konsequenzen, auch die von der Anlagenkonfiguration abhängigen Ratenkonstanten, Testperioden, Reparaturzeiten und Ausfallkonsequenzen auf. Dabei wird explizite festgehalten, wie die konfigurationsabhängigen Einträge von der jeweiligen Anlagenkonfiguration abhängen. Aus dieser Tabelle können in einem weiteren Schritt konfigurationspezifische, auf eine spezielle Anlagenkonfiguration zugeschnittene FMEA-Tabellen extrahiert werden. Anhand der konfigurationspezifischen FMEA-Tabellen können nach einer Umwandlung in Markov-Modelle Zuverlässigkeitskennwerte der Anlage in der bestimmten Konfiguration berechnet werden.



DE 197 13 917 A 1

DE 197 13 917 A 1

Die Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der Zuverlässigkeitstechnik. Sie geht aus von einem Verfahren zur Bestimmung von Zuverlässigkeitskennwerten einer technischen Anlage gemäß dem Oberbegriff des ersten Anspruchs.

#### Stand der Technik

Ein gattungsgemäßes Verfahren wird bereits in den Lecture Notes in Computer Science 1150, Dependable Computing - EDCC - 2, "Dependability Evaluation of a Computing System for Traction Control of Electrical Locomotives", Seite 129-140, Springer Verlag, Oktober 1996, von Silke Draber und Bernhard Eschermann beschrieben.

Zunächst wird für die technische Anlage eine FMEA-Tabelle aufgestellt. Unter FMEA-Tabellen versteht man eine Liste mit den Ausfallarten, Ausfallwahrscheinlichkeiten und Konsequenzen der Ausfälle aller relevanten Bauteile einer Anlage (FMEA = Failure Modes and Effects Analysis). Anhand dieser Angaben ist es möglich, die Zuverlässigkeitskennwerte (z. B. MTTF "mean time to failure") zu berechnen. Angaben, wie eine FMEA-Tabelle erstellt wird, können dem Buch "Qualität und Zuverlässigkeit technischer Systeme" von A. Birolini, Springer-Verlag 1988, 2. Auflage, Seiten 63-66 entnommen werden. Zur Berechnung der Zuverlässigkeitskennwerte werden die erzeugten FMEA-Tabellen in einem nachfolgenden Schritt in ein Markov-Modell umgewandelt, anhand dessen die Kennwerte berechnet werden können.

Zuverlässigkeitskennwerte einer technischen Anlage sind für die Auslegung der Anlage von großer Bedeutung. Werden die Zuverlässigkeitskennwerte bereits bei der Entwicklung berücksichtigt und gezielt beeinflusst, so können auf Grund der resultierenden höheren Verfügbarkeit enorme Kosten eingespart werden. So ist es beispielsweise möglich, durch die Analyse der Zuverlässigkeitskennwerte erkannte Schwachstellen der Anlage redundant auszuführen oder zu verstärken. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, FMEA-Tabellen entwicklungsbegleitend aufzustellen und Zuverlässigkeitskennwerte zu berechnen, so daß verschiedene Anlagenkonfigurationen hinsichtlich ihrer Zuverlässigkeit verglichen werden können. Nach dem Stand der Technik würde man für jede Anlagenkonfiguration getrennt eine FMEA-Tabelle erstellen und Zuverlässigkeitskennwerte rechnerisch ermitteln müssen, da Ausfallarten, -raten, -wahrscheinlichkeiten und Ausfalleffekte von der Anlagenkonfiguration abhängig sind. Dies läßt sich bei einer sehr einfachen Anlage mit nur einer Handvoll von Anlagenkonfigurationen noch bewältigen. In der industriellen Praxis existiert jedoch oft eine nicht mehr überschaubare Anzahl von Konfigurationen der Anlage, die anhand von Zuverlässigkeitskennwerten miteinander verglichen werden müssen. Es ergeben sich Hunderte, wenn nicht Tausende von Anlagenkonfigurationen, die ohne Rechnerunterstützung aufzustellen nahezu unmöglich ist, geschweige denn daß für jede dieser Konfigurationen jeweils eine spezifische FMEA-Tabelle aufgestellt werden kann.

Der Arbeitsaufwand wird so groß, daß Fehler kaum zu vermeiden sind. Außerdem zieht eine kleine Änderung an einer Stelle zahlreiche Anpassungen an anderen Stellen mit sich, so daß die Berechnung der Zuverlässigkeitskennwerte sehr unflexibel wird. Insbesondere für eine automatische Berechnung der Zuverlässigkeitskennwerte aller Anlagenkonfigurationen einer technischen Anlage wäre es deshalb wünschenswert, wenn der benötigte Aufwand verringert

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren zur Bestimmung von Zuverlässigkeitskennwerten aller Anlagenkonfigurationen einer technischen Anlage anzugeben, mittels welchem der Arbeitsaufwand auch für komplizierte Anlagen so klein gehalten kann, daß Zuverlässigkeitsanalysen für verschiedene Konfigurationen der Anlage vorgenommen werden können.

Diese Aufgabe wird bei einem Verfahren der eingangs genannten Art durch die Merkmale des ersten Anspruchs gelöst.

Kern der Erfindung ist es also, daß zunächst eine einzige FMEA-Tabelle für alle Konfigurationen der Anlage erstellt wird. Die Tabelle weist in ihren Zeilen, d. h. der Beschreibung der Fehler und ihrer Konsequenzen, die von der Anlagenkonfiguration abhängigen Ratenkonstanten, Testperioden, Reparaturzeiten und Ausfallkonsequenzen auf. Dabei wird explizite festgehalten, wie die konfigurationsabhängigen Einträge von der jeweiligen Anlagenkonfiguration abhängen. Eine solche FMEA-Tabelle wird im folgenden konfigurationsübergreifende FMEA-Tabelle genannt. Es müssen somit nicht mehr viele spezifische sondern nur noch eine einzige konfigurationsübergreifende FMEA-Tabelle erzeugt werden. Aus dieser Tabelle können in einem weiteren Schritt konfigurationsspezifische, auf eine spezielle Anlagenkonfiguration zugeschnittene FMEA-Tabellen extrahiert werden. Anhand der konfigurationsspezifischen FMEA-Tabellen können nach einer Umwandlung in ein Markov-Modell Zuverlässigkeitskennwerte der Anlage in der bestimmten Konfiguration berechnet werden.

Um das Aufstellen der konfigurationsübergreifenden FMEA-Tabelle zu erleichtern, ist vorteilhaft, die technische Anlage in eine Anzahl von Teilsystemen zu unterteilen. Für diese Teilsysteme werden dann einzelne FMEA-Teiltabellen erzeugt, die zur konfigurationsübergreifenden FMEA-Tabelle zusammengefaßt werden können. Unter globalen Konfigurationen werden im folgenden die Konfigurationen der gesamten Anlage verstanden, während lokale Konfiguration die Konfiguration der Teilsysteme beschreiben. Jede globale Konfiguration entspricht einer Kombination von lokalen Konfigurationen. Eine technische Anlage kann sich somit theoretisch in einer nahezu unendlichen Anzahl von globalen Konfigurationen befinden. Viele der theoretisch möglichen globalen Konfigurationen machen jedoch technisch keinen Sinn, vielmehr stehen die lokalen Konfiguration der Teilsysteme untereinander in einer beschränkten Anzahl von Regeln gehorchenden Wechselbeziehungen. Diese Regeln können in einer Regelbasis notiert werden. Somit kann vor dem Berechnen der Zuverlässigkeitskennwerte anhand der Regelbasis geprüft werden, ob die anstehende globale Konfiguration überhaupt regelkonform ist. Durch die Verwendung einer Regelbasis kann die Anzahl möglicher globaler Konfigurationen somit drastisch verringert werden. Dies stellt auch eine Voraussetzung für die anschließende graphische Darstellung dar, anhand derer die geeignete Konfiguration ausgewählt werden kann.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Nachfolgend wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen im Zusammenhang mit den Zeichnungen näher erläutert.

Es zeigen:

Fig. 1 Eine schematische Darstellung der Extraktion der konfigurationsspezifischen FMEA-Tabellen aus der konfi-

gurationsübergreifenden FMEA-Tabelle der gesamten Anlage;

**Fig. 2** Eine schematische Darstellung der Berechnung und graphischen Darstellung der Zuverlässigkeitskennwerte anhand von mehreren konfigurationsspezifischen FMEA-Tabellen.

Die in den Zeichnungen verwendeten Bezugszeichen und deren Bedeutung sind in der Bezugszeichenliste zusammengefaßt aufgelistet. Grundsätzlich sind in den Figuren gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen versehen.

#### Wege zur Ausführung der Erfindung

Das erfindungsgemäße Verfahren wurde anhand einer gasisolierten Schaltanlage realisiert. Die Anlage wird zunächst in Teilsysteme unterteilt und analysiert. Bei den Teilsystemen handelt es sich insbesondere um die Schaltfelder der Anlage, umfassend eine Anzahl von einander zugeordneten Hochspannungsschaltern, die von Sensoren, Aktoren und Stromschienen umgeben sind. Die Daten für die nach Teilsystemen und Komponenten untergliederten Abschnitte der konfigurationsübergreifenden FMEA-Tabelle werden auf der Grundlage eines sogenannten symptomatischen Modells gewonnen. Ein symptomatisches Modell beschreibt das Verhalten eines technischen Systems im Fehlerfall. Ein symptomatisches Modell erlaubt es, ausgehend vom Fehlerzustand "ok" – d. h. alles in Ordnung – durch verschiedene Fehlerzustände zu schreiten. Die Fehlerzustände entsprechen dabei den möglichen Betriebsarten der gesamten Anlage, wenn irgendein Bauteil des Teilsystems ausgefallen oder zumindest nur noch eingeschränkt verfügbar ist. Im Zustand, in welchem eine Reparatur des Teilsystems notwendig wird, kann z. B. über dementsprechende Reparaturmaßnahmen zum Ausgangszustand "ok" zurückgekehrt werden.

Auf diese Weise wird Teilsystem für Teilsystem verfahren und FMEA-Teiltabellen werden aufgestellt. In einer Teiltabelle werden nur diejenigen Ausfälle behandelt, die das entsprechende Teilsystem betreffen. Konfigurationseinschränkende Regeln werden beim Aufstellen der Tabellen nicht berücksichtigt. Die FMEA-Tabellen sind konfigurationsübergreifend abgefaßt, d. h. alle von der Anlagenkonfiguration abhängigen Werte sind auch konfigurationsabhängig beschrieben. Durch Aneinanderreihen der FMEA-Teiltabellen wird die konfigurationsübergreifende FMEA-Tabelle für das Gesamtsystem gewonnen. Aus der so erzeugten konfigurationsübergreifenden FMEA-Tabelle (1) kann eine beliebige, einer interessierenden Konfiguration entsprechende, konfigurationsspezifische FMEA-Tabelle (2) extrahiert und in ein Markov-Modell (3) umgewandelt werden (Fig. 1). Anhand der Markov-Modelle (3) werden anschließend verschiedene Zuverlässigkeitskennwerte bestimmt und dargestellt (Fig. 2).

Im Falle der gasisolierten Schaltanlage – wie auch in den meisten industriellen Anwendungsfällen – läßt sich eine Anlagenkonfiguration definieren als Kombination von Teilsystemkonfigurationen. Damit ergibt sich die Zahl der Anlagenkonfigurationen aus dem Produkt der Zahl der Konfigurationen der Teilsysteme. Ein großer Teil der enorm hohen Anzahl von Anlagenkonfigurationen wäre aber sinnlos, da sich die Anlage in einer entsprechenden Konfiguration gar nicht befinden dürfte.

Somit wird außerdem eine Regelbasis aufgestellt, die an Hand von einzelnen Regeln die gegenseitige Abhängigkeiten unter den Konfigurationen der Teilsysteme aufzeigt. Auf diese Weise kann die riesige Anzahl möglicher Kombinationen in einem handhabbaren Rahmen gehalten werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren umfaßt also im wesent-

lichen folgende Schritte:

- Aufstellen einer konfigurationsübergreifenden FMEA-Tabelle, zusammengesetzt aus Teiltabellen;
- Extraktion von konfigurationsspezifischen FMEA-Tabellen aus der konfigurationsübergreifenden FMEA-Tabelle für diejenigen Anlagenkonfigurationen, die der Regelbasis gehorchen;
- Umwandlung der extrahierten konfigurationsspezifischen FMEA-Tabelle in ein Markov-Modell, Berechnung und Darstellung von Zuverlässigkeitskennwerten.

Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht eine zuverlässigkeitstechnische Analyse einer technischen Anlage bereits in einem frühen Stadium. Insbesondere können verschiedene Konfigurationen der Anlage gegeneinander abgewogen werden, und der Einfluß verschiedener Maßnahmen auf die Zuverlässigkeit kann berechnet und dargestellt werden. Insgesamt ermöglicht das erfindungsgemäße Verfahren eine gezielte Planung der technischen Anlage. Dies ist insbesondere im Hinblick auf die Betriebszuverlässigkeit und die Verfügbarkeit von großem Vorteil und eröffnet ein großes Kosteneinsparungspotential.

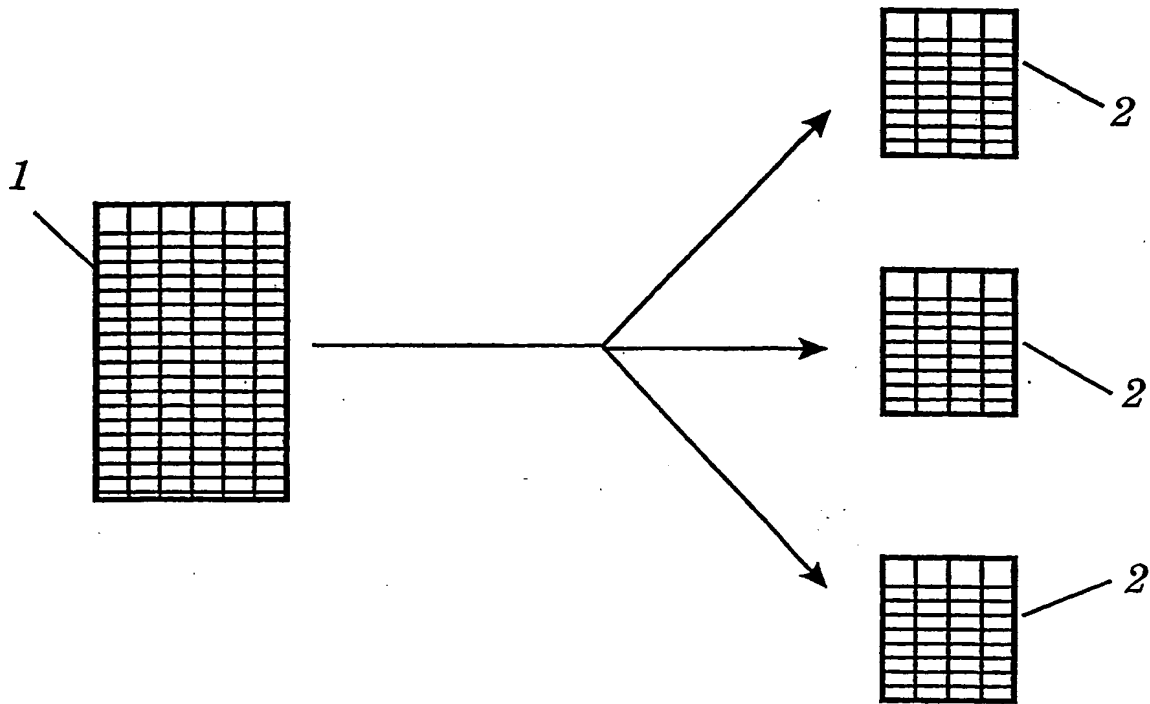
#### Bezugszeichenliste

- 1 konfigurationsübergreifende FMEA-Tabelle
- 2 konfigurationsspezifische FMEA-Tabellen
- 3 Markov-Modell

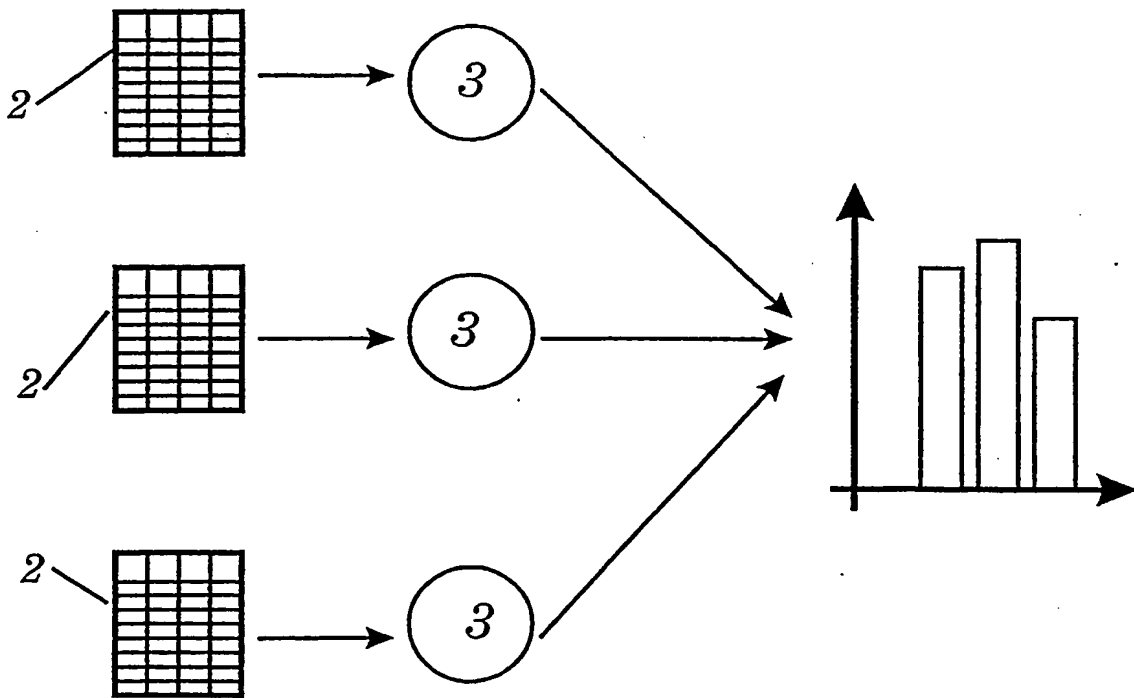
#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung von Zuverlässigkeitskennwerten einer technischen Anlage, die sich in einer Vielzahl von Konfigurationen befinden kann, wobei in einem ersten Schritt eine konfigurationsübergreifende FMEA-Tabelle (1) der Anlage, insbesondere umfassend für jede Konfiguration Ausfallarten und Auswirkungen der Ausfälle der Bestandteile der technischen Anlage, erzeugt wird, in einem zweiten Schritt konfigurationsspezifische FMEA-Tabellen (2) aus der konfigurationsübergreifenden FMEA-Tabelle (1) extrahiert und anhand dieser konfigurationsspezifischen FMEA-Tabellen (2) mittels daraus erzeugten Markov-Modellen (3) Zuverlässigkeitskennwerte der Anlage bestimmt und dargestellt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Anlage eine Anzahl von Teilsystemen umfaßt und für jedes Teilsystem eine eigene konfigurationsübergreifende FMEA-Teiltabelle erzeugt wird, die anschließend zur konfigurationsübergreifenden FMEA-Tabelle (1) zusammengefaßt werden.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die konfigurationsübergreifende FMEA-Teiltabellen anhand einer Regelbasis kombiniert werden, wobei die Regelbasis Wechselbeziehungen zwischen den Teilsystemen umfaßt.
4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Zuverlässigkeitskennwerte in Abhängigkeit der Anschaffungskosten der technischen Anlage dargestellt werden.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen



*Fig. 1*



*Fig. 2*